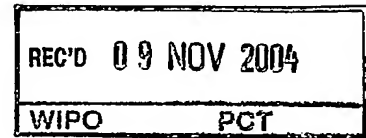


28 OKT. 2004

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



EPO4/9889



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 103 44 304.5

Anmeldetag: 23. September 2003

Anmelder/Inhaber: DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart/DE

Bezeichnung: Einscherer-Erkennung mit erweiterter Umgebungs-
erfassung – eine Machbarkeitsstudie

IPC: G 08 G 1/16

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 8. September 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident

Im Auftrag

Faust

EINSCHERER-ERKENNUNG MIT ERWEITERTER UMGEBUNGSERFASSUNG – EINE MACHBARKEITSSTUDIE

Detection of cutting-in vehicles – a feasibility study

Ismail Dagli², Dr. Gabi Breuel¹, Dr. Helmut Schittenhelm¹

¹DaimlerChrysler AG, Research & Technology
Autonomous Systems and Pattern Understanding, Assisting Systems
HPC T728, 70546 Stuttgart

²STZ-Softwaretechnik, Im Gaugenmaier 20, 73730 Esslingen

KURZFASSUNG

Eine wichtige Aufgabenstellung, die es für zukünftige Fahrerassistenzsysteme zu bearbeiten gilt, ist die Entwicklung von Methoden zur Situationsanalyse, -prädiktion und -bewertung. Dadurch kann der Fahrer frühzeitig, gestuft und fahrsituationsspezifisch informiert und gewarnt werden, oder es kann gegebenenfalls ein Eingriff in die Fahrzeugsteuerung erfolgen. Dies erfordert, dass das Verhalten und die Aktionen des Fahrers bzw. der anderen Fahrer im Umfeld mit berücksichtigt werden. In dieser Arbeit wird dargestellt, wie ein generischer Ansatz zur Aktionserkennung für eine Einscherer-Erkennung für Abstandsregeltempomaten (ART) verwendet werden kann. Weiterhin wird ein durchgängiges Konzept von der Sensordatenfilterung bis hin zur Situationsanalyse vorgestellt, das nicht nur Unschärfe in der Modellierung des Fahrverhaltens berücksichtigt, sondern zudem eine implizite Bewertung der verschiedenen Sensordaten erlaubt.

ABSTRACT

A very important issue in advanced driver assistance systems is the development of methodologies for situation analysis, -prediction and -assessment, in order to inform and warn the driver or if necessary to take a corrective control action. An early recognition and assessment of the situation can be achieved and adequate information, warning and control strategies can be developed if the behaviour and the intentions of the driver and the drivers of the surrounding vehicles are considered. In this paper, a general scheme for action recognition is applied for the detection cutting-in vehicles in ACC-Systems. Moreover, a concept will be presented that considers uncertainty in driving behaviour as well as uncertainty arising from the inaccuracy of sensor data.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Bei der Entwicklung von Längsregelsystemen lassen sich die folgenden Entwicklungsschritte ableiten. Die erste Lösung war der Tempomat, der eine gesetzte Geschwindigkeit trotz Steigungen und äußeren Störungen wie Wind konstant hält. Den nächsten Entwicklungsschritt stellte die DISTRONIC (ART System) dar, die mit Hilfe eines Radarsensors den Abstand und die Geschwindigkeit zu einem vorausfahrenden

dar, die mit Hilfe eines Radarsensors den Abstand und die Geschwindigkeit zu einem vorausfahrenden Fahrzeug reget. Falls kein Führungsfahrzeug vorhanden ist, wird eine eingestellte Geschwindigkeit gehalten. Erkennt die DISTRONIC ein langsames, vorausfahrendes fahrendes Fahrzeug, wird die Geschwindigkeit soweit reduziert, bis ein vorgegebener Zeitabstand eingehalten wird. Diese Geschwindigkeit-Abstands-Regelung der DISTRONIC erhöht den Fahrkomfort deutlich und steigert die Fahrercondition bei längeren Autobahnfahrten erheblich. Die heute bekannten ART-Systeme decken aber erst einen eingeschränkten Funktionsumfang ab. Er wird u.a. durch die aktuellen Systemgrenzen wie z.B. durch minimale und maximale einstellbare Wunschgeschwindigkeit, die maximale durch das System nutzbare Verzögerung sowie der dargestellten Systemfunktionalität definiert. Bei dem objektiven bzw. subjektiven Überschreiten dieser Grenzen muß bzw. wird der Fahrer die Längsregelung des Fahrzeugs wieder vollständig selbst übernehmen. Diese Übernahme-situationen lassen sich grob in die Kategorien „Annäherung an ein vorausfahrendes Fahrzeug“, „Vorderrmann brems (stark)“, „Einscheres Fahrzeug“ und „Verlassen der Systemgrenzen bzgl. Wunschgeschwindigkeit“ gliedern.

In [Bubb et. al. 2001] werden die Ergebnisse zu Feldversuchen zu diesen Übernahme-situationen dargestellt. Es zeigt sich, dass auch nach einer mehrwöchigen Eingewöhnungszeit diese Situationen von mehr als 10% als problematisch betrachtet werden. Wobei das "Einscheren eines anderen Fahrzeugs" bei den subjektiven Beurteilung sogar als noch etwas schwieriger als ein „bremsendes Fahrzeug“ bewertet wurde. In dem Versuch deaktivierten die Probanden in dieser Situation das System im Mittel knapp 5 Sekunden vor einer Kollision (TTC) (50% mit TTC-Zeiten im Intervall 3 bis 13 Sekunden). Sie verzögerten dann im Mittel mit 1.4m/s^2 (50% im Intervall -1.8m/s^2 bis -1.0m/s^2 bzw. 100% im Intervall -2.8m/s^2 bis -0.2m/s^2) um die Situation selbst zu lösen. Ein frühzeitiges Erkennen dieser Situation ermöglicht einen frühen und damit moderaten Eingriff des Systems. Die Vermutung liegt nahe, dass dies auch in einer Vielzahl der Fälle im Rahmen der aktuell bestehenden Systemgrenzen möglich ist.

Ziel dieser Arbeit ist es eine Methode vorzustellen, mit der „Einscherende Fahrzeuge“ robust und frühzeitig erkannt werden können. Damit kann der Komfort und die Sicherheit aber auch die Akzeptanz heutiger ART-Systeme erhöht werden.

1.2 Aufgabenstellung

Aktionen im Straßenverkehr wie z.B. ein Spurwechsel sind kontinuierliche Vorgänge und können in ihrer Ausprägung situations- und fahrerabhängig variieren. Daher ist eine Aussage über eine bevorstehende Aktion eines anderen Verkehrsteilnehmers immer mit einer Unschärfe verbunden. Zu der Unschärfe in der Korrelation zwischen Fahrerverhalten und der bevorstehenden bzw. durchgeführten Aktion tritt noch eine Unsicherheit durch die schwankende Qualität der Sensordaten hinzu. Damit hat eine Aussage über die Durchführung einer Handlung bei gegebenen physikalischen Größen immer den Charakter einer Wahrscheinlichkeitsaussage. Deshalb muss ein Modell zur frühen Erkennung einer Aktion wie z.B. einem Spurwechsel das Fahrverhalten bei der Vorbereitung und Durchführung möglichst robust erkennen, um beispielsweise einen Spurwechselvorgang vom einfachen Schlangenlinien-Fahren zu unterscheiden. Dieses Modell muss gleichzeitig unterschiedlich ausgeprägte Spurwechselvorgänge zuverlässig erkennen. Ferner sollten Sensordaten höherer Qualität stärker berücksichtigt werden, damit eine Entscheidung auf einer zuverlässigen Grundlage basiert.

1.3 Vorgehensweise

In [Dagli et. al. 02a] wird ein Konzept zur Verhaltenserkennung und -prädiktion vorgestellt. Es berücksichtigt Fahrerverhalten auf verschiedenen Abstraktionsebenen. In [Dagli et. al. 02b] wird die Aktionserkennung mit dynamischen, probabilistischen Netzen dargestellt und erste Ergebnisse in Simulation und unter der Voraussetzung einer vollständigen, idealen Rundumsicht präsentiert. In der vorliegenden Arbeit sollen die einzelnen Schritte zur Anwendung dieser Arbeiten bei der Situationsanalyse und -bewertung exemplarisch für die Erkennung von Einscherern dargestellt werden. Die Einscherer-Erkennung erfüllt die Realzeitanforderungen im Fahrzeug und liefert robuste Resultate auch für stark verrauschte Sensordaten.

2 Analyse der Einscherer-Erkennung

2.1 Modellierung von Spurwechselvorgängen

In diesem Kapitel werden die wichtigen Merkmale eines Spurwechsels zusammengefasst, die für die Erkennung von Einscherern verwendet werden. Die Merkmale basieren auf den Untersuchungen von [Fastenmaier et. al. 01], [Ehmanns 01], [Ehmanns & Hochstädter 00], [Spindler 62]. Die wichtigen Merkmale zur Beschreibung von Spurwechseln sind die aktuelle, laterale Bewegung, die Trajektorie und die Zeitlücken zu den benachbarten Fahrzeugen. Sie sollen im folgenden veranschaulicht werden:

Laterale Bewegung

Die laterale Bewegung des betrachteten Fahrzeugs (z.B. potentieller Einscherer) wird in Form des Querversatzes zur Spurmitte (Spurversatz) und der lateralen Geschwindigkeit orthogonal zur Spurtangente ausgewertet. Der Spurversatz und die laterale Geschwindigkeit werden in Abbildung 2-1 graphisch verdeutlicht.

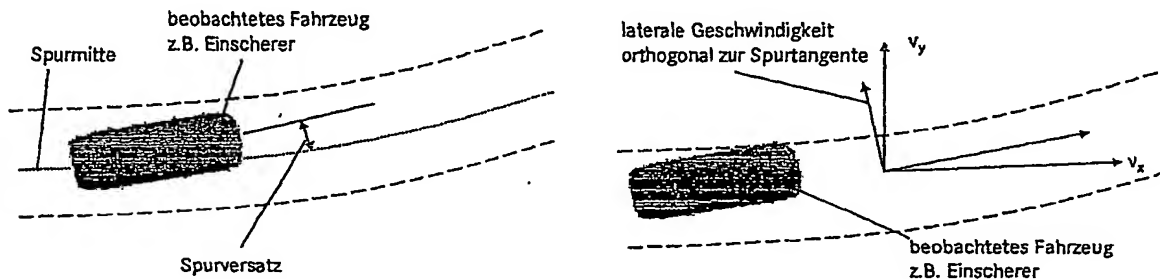


Abbildung 2-1 Definition Spurversatz und laterale Geschwindigkeit / Definition of lateral offset and velocity

Trajektorien

Die Position relevanter Fahrzeuge wird aktuell vermessen. Die daraus resultierenden Trajektorien werden zur Laufzeit ausgewertet. Anhand der Trajektorien können charakteristische Merkmale eines Spurwechsels extrahiert werden. Die folgenden Trajektorienmerkmale werden ausgewertet:

Ein Ausgleichspolynom wird durch die aufgezeichneten Punkte gelegt, die Trajektorie fortgeführt und damit der mögliche Schnittpunkt mit der Spurmarkierung geschätzt. In Abbildung 2-2 (links) wird der Schnittpunkt zwischen dem Ausgleichspolynom und der Spurmarkierung graphisch dargestellt.

Es wird auf Übereinstimmung mit einem Modell einer idealisierten Spurwechseltrajektorie (z.B. nach [Spindler 62]) geprüft, die mit verschiedenen maximal ausgenutzten Querschleunigungen parametrisiert werden. Eine Übereinstimmung mit einer charakteristischen Spurwechseltrajektorie wird als Indiz für einen bevorstehenden Spurwechsel gedeutet. In Abbildung 2-2 (rechts) sind exemplarisch die aufgezzeichneten Punkte und die Modell-Spurwechseltrajektorie eingezeichnet. Die Übereinstimmung wird über die kleinsten Fehlerquadrate geprüft.

Aus der Trajektorie des Fahrzeugs lässt sich durch Ableitung über den Weg der Gierwinkel relativ zur Spurtangente bestimmen. Nimmt der Gierwinkel charakteristische Werte an, dann kann von einer Spurwechseldurchführung ausgegangen werden.

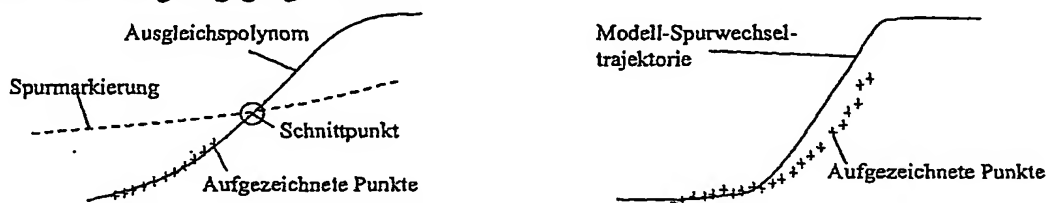


Abbildung 2-2 Links: Schnittpunkt mit Spurmarkierung. Rechts: Übereinstimmung mit dem Modell einer Spurwechseltrajektorie. / Definition of trajectory characteristics

Zeitlücken zu Nachbarfahrzeugen

Durch die Zeitlücken (T_n = Nettozeitlücke und T_{tc} = Time-To-Collision) und deren Ableitungen (dT_n , dT_{tc}) zu den Nachbarfahrzeugen kann der Einfluss der unmittelbaren Umgebung mitberücksichtigt werden [Dagli et. al. 02b].

Gerade bei Spurwechseln nach links, die meist mit einem Überholmanöver verbunden sind, können Zeitlücken zum vorderen Fahrzeug entstehen, die weit unter den charakteristischen Zeitlücken bei Folgefahrten sind. Weiterhin werden bei den meisten Spurwechselvorgängen die Distanz und die Relativgeschwindigkeit zu den Fahrzeugen auf der Zielspur angepasst bzw. angeglichen. Das bedeutet, dass bei diesem Vorgang die Differenz der Zeitlücken zum vorderen Fahrzeug und dem folgenden Fahrzeug auf der Zielspur gegen null geht. Diese Verhaltensweisen, die hier durch die Zeitlücken spezifiziert werden, tragen in [Dagli et. al. 02] einen wesentlichen Teil zur Früherkennung eines Spurwechselvorgangs bei, da diese schon bei Initiierung beobachtet werden können.

Bei der Einzel-Auswertung der Merkmale eines Spurwechsels können Fehlinterpretationen entstehen. Beispielsweise kann bei der Auswertung der Trajektorienmerkmale eine Fehleinschätzung der Situation erfolgen, wenn Fahrzeuge Schlangenlinien fahren. Wenn nur der Querversatz des Fahrzeugs zur Spurmitte und die laterale Geschwindigkeit betrachtet werden, kann eine Fehleinschätzung erfolgen, wenn Fahrzeuge spurversetzt fahren. Bei der Auswertung der Zeitlücken kann eine Fehleinschätzung der Situation erfolgen, wenn z.B. bei synchronisiertem Verkehr Fahrzeuge neben Lücken fahren, ohne dass ein Spurwechselwunsch vorliegt.

Bei einer gesamtheitlichen Auswertung von verschiedenen Merkmalen und der gleichzeitigen Berücksichtigung der Sensordatenqualität (siehe Kapitel 3.2), können hier Spurwechselvorgänge früh erkannt und gleichzeitig Fehleinschätzungen vermieden werden.

2.2 Sensorenkonfiguration

Für die Einscherer-Erkennung wird hier ein Laserscanner verwendet, der ca. 36° horizontal und 3° vertikal durch einen rotierenden Polygonspiegel ca. 5-80m erfassen kann. Die genauere, laterale Auflösung und die Robustheit gegen Nicken und Wanken sind die Vorteile, die zu dieser Entscheidung beigetragen haben. Da fast alle relevanten Größen zur frühzeitigen Erkennung des Spurwechsels relativ zur eigenen Spur definiert sind, wird zudem ein monokamerabasiertes Spurerkennungssystem eingesetzt [Gern 03]. Die verwendete Sensorkonfiguration besteht aus einem Mehrstrahllaserscanner zur Objekterkennung und einer Monokamera zur Spurerkennung.

3 Konzeption und Realisierung

In den folgenden Abschnitten soll die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Modellierung der Einscherer-Erkennung erläutert werden. Dazu wurde aus dem generischen Ansatz zur Modellierung einer Fahrerabsichtserkennung mit probabilistischen Netzen aus [Dagli et. al. 02b] ein gröberes Modell zur Einscherer-Erkennung abgeleitet, das im Fahrzeug unter Realzeitbedingungen eingesetzt werden kann.

3.1 Reduziertes Modell für Einscherer-Erkennung

Das allgemeine Modell zur Fahrerabsichtserkennung in [Dagli et. al. 02b] kann ebenfalls zur Einscherer-Erkennung genutzt werden, indem für Knoten, die nicht beobachtet werden können, eine a-priori Wahrscheinlichkeitsverteilung zu Grunde gelegt wird. Für die Einscherer-Erkennung soll hier jedoch ein reduziertes Modell vorgestellt werden, das effizienter ist, weil es weniger Knoten enthält und robuster gegenüber Rauschsignalen ist, weil andere, physikalische Eingangsdaten genutzt werden.

In Abbildung 3-1 (oben) wird eine Einscherer-Situation für die gegebene Sensorkonfiguration beispielhaft für einen Einscherer von rechts dargestellt. Das eigene Fahrzeug, das den Einschervorgang erkennen soll, hat Sensorinformation bezüglich des Führungsfahrzeugs und des Einscherers. Da sich das hier vorgestellte Modell immer auf das beobachtete Fahrzeug (einscherendes Fahrzeug) bezieht, sind Informationen über dessen laterale Geschwindigkeit, Spurversatz, die Trajektorienerkmale und die Zeitlücken zu den Fahrzeugen auf der Zielspur bekannt. In Abbildung 3-1 (unten, links) wird der Auszug des probabilistischen Netzes aus [Dagli et. al. 02b] gezeigt, welches mit diesen Informationen gefüllt werden kann.

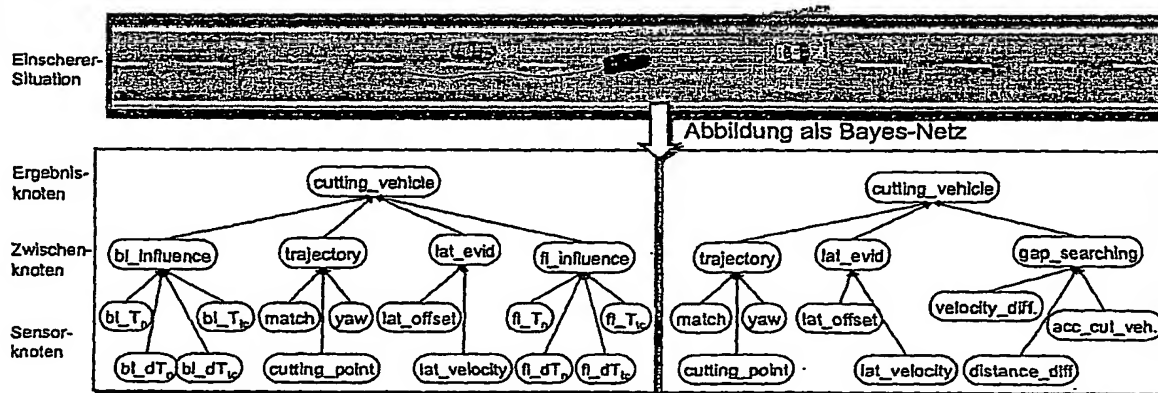


Abbildung 3-1 Links relevante Knoten für Einscherer-Problematik. Rechts Vereinfachung durch explizites modellieren der Lücke / Relevant nodes in the bayesian network for detection of cutting-in vehicles.

Bei der Erprobung mit realen Messdaten wurde für das allgemeine Modell (Abbildung 3-1 unten, links) festgestellt, dass sich Rauschsignale bei der Berechnung der Zeitlücken stark auswirken. Zudem werden in diesem Modell 10 Knoten benötigt, um den Einfluss der Fahrzeuge auf der Zielspur zu modellieren. Die Anzahl der Knoten kann reduziert werden, indem die Lücke zwischen den Fahrzeugen explizit in der Modellierung berücksichtigt wird. Dazu wird die Mitte zwischen dem eigenen Fahrzeug und dem Führungsfahrzeug als Mitte der Lücke definiert und für die Geschwindigkeit der Lücke der Mittelwert der Geschwindigkeiten genommen. Eine Orientierung „Lückensuche“ liegt vor, falls das Fahrzeug seine Position und Geschwindigkeit durch seine aktuelle Beschleunigung an die Lücke anpasst. Bei dieser Vorgehensweise werden nur noch 4 Knoten benötigt (Abbildung 3-1 unten, rechts). Die einzelnen Knoten des vereinfachten, probabilistischen Netzes sollen im Folgenden erläutert werden:

Beschreibung der Eingangsknoten:

1. *lat_offset*: Spurversatz des Einscherers.
2. *lat_velocity*: Laterale Geschwindigkeit des einscherenden Fahrzeugs orthogonal zur Spurtangente.
3. *cutting_point*: Weg bis zum Schnittpunkt mit Spurmarkierung.
4. *yaw*: Gierwinkel zur Spur.
5. *match*: Übereinstimmung mit Modell-Spurwechseltrajektorie. Die Übereinstimmung wird über Fehlerquadrate geprüft.
6. *velocity_difference*: Relativgeschwindigkeit des einscherenden Fahrzeugs zur Lückengeschwindigkeit.
7. *distance_difference*: Distanz zur Lücke.
8. *acc_cut_vehicle*: Beschleunigung des einscherenden Fahrzeugs.

Beschreibung der Zwischenknoten:

lat_evid: Gruppierung der Knoten *lat_offset* und *lat_velocity*. Knoten hat Zustand *true* (Fahrzeug schert ein) und *false* (Fahrzeug schert nicht ein).

trajectory: Gruppierung der Knoten für Trajektorienmerkmale *yaw*, *match* und *cutting_point*. Knoten hat Zustand *true* (Fahrzeug schert ein) und *false* (Fahrzeug schert nicht ein).

gap_searching: Gruppierung der Knoten *velocity_difference*, *distance_difference* und *acc_cut_vehicle*. Knoten hat Zustand *true* (Fahrzeug schert ein) und *false* (Fahrzeug schert nicht ein).

Beschreibung der Ergebnisknoten:

cutting_vehicle: Wahrscheinlichkeit, dass das Fahrzeug bei gegebenen Eingangsdaten einschert.

3.2 Kombination der Sensordatenfilterung mit der Situationsanalyse

Die Idee hinter der hier vorgestellten Kopplung zwischen der Sensordatenfilterung und der Situationsanalyse ist, dass Sensordaten höherer Qualität stärker in die Entscheidung einbezogen werden sollen als Sensordaten niedriger Qualität.

Als Qualitätsmaß soll hier die Varianz der Messzustände verwendet werden, die aus den Kovarianzmatrizen (P-Matrix) der Kalman-Filter zur Verfügung stehen. Die aus der Kalman-Filterung direkt verwendbaren, physikalischen Größen hängen von den verwendeten Modellen zur Kalman - Filterung ab,

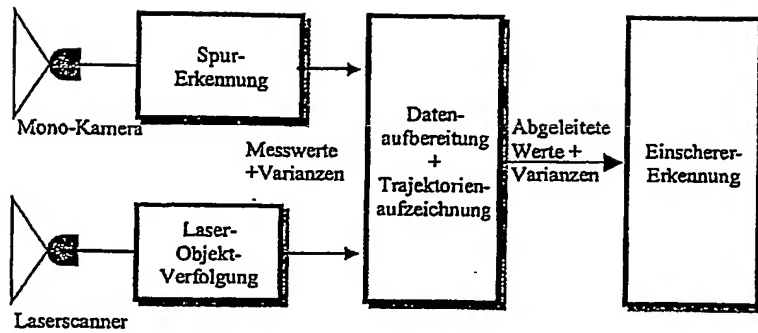


Abbildung 3-2 Kombination der Sensordatenfilterung und der Situationsanalyse über die Kovarianzmatrizen / Coupling sensor data filtering with situation analysis

die in den Arbeiten von [Moebus et. al. 03] für Objekttracking und [Gern et. al. 00] und [Gern 03] für Spurerkennung vorgestellt werden. Für die Einscherer-Erkennung müssen abgeleitete Größen berechnet werden, die nicht direkt aus den Filtern geliefert werden. Für diese Größen müssen insbesondere auch die Varianzen berechnet werden, um diese bei der Situationserkennung zu verwenden. Abbildung 3-2 stellt die prinzipielle Vorgehensweise vor.

Aus den Kalman-Filtern zur Objektverfolgung und Spurerkennung sind die Systemzustände \bar{x}_{objekt} und \bar{x}_{spur} bekannt. Weiterhin stehen die Kovarianzmatrizen $C_{x_{objekt}}$ und $C_{x_{spur}}$ der Systemzustände zur Verfügung. Dabei wird für Variablen, die aus zwei verschiedenen Kalman-Filtern stammen (z.B. eine Variable aus der Spurerkennung und eine aus der Objektverfolgung), vorausgesetzt, dass:

$$\text{cov}_{x_i, x_j} = 0 \text{ für } x_i \in x_{objekt}, x_j \in x_{spur} \quad (1)$$

Für die Berechnung des Wertes zur Belegung des Eingangsknotens i des probabilistischen Netzes werden Funktionen benötigt, welche die Systemzustände der Kalman-Filter geeignet kombinieren.

$$y_i = f(\bar{x}_{objekt}, \bar{x}_{spur}) \quad (2)$$

Durch die Struktur des probabilistischen Netzes wird implizit vorausgesetzt, dass die Eingangsknoten unabhängig sind (sonst bilden sich Zyklen, die nicht erlaubt sind). Folglich wird hier in erster Näherung angenommen, dass die Kovarianzen der Größen y_i null sind:

$$\text{cov}_{y_i, y_j} = 0 \text{ für } i \neq j \quad (3)$$

Die Varianz der Größe y_i kann mit Hilfe einer Taylor-Reihenentwicklung dargestellt werden durch:

$$E[(y_i - E[y])^2] = ACA^T \quad (4)$$

wobei C die Kovarianzmatrix der Variablen darstellt, aus denen $y_i(x_1, x_2, \dots, x_k)$ berechnet wurde. Die Matrix A beinhaltet die Ableitungen am Arbeitspunkt $x_i = \mu_i$:

$$A_k = \left[\frac{\partial y}{\partial x_k} \right]_{\bar{x} = \bar{\mu}} \quad (5)$$

Nachdem die Varianzen der relevanten Größen des probabilistischen Netzes berechnet wurden, werden normalverteilte Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $N(\mu, \sigma)$ für die Belegung der Knoten angesetzt.

Da es sich im probabilistischen Netz um diskrete Knoten handelt, muss die Wahrscheinlichkeit der einzelnen Bereiche ermittelt werden:

$$P(a \leq Y \leq b) = \int_a^b \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma^2}} dy \quad (6)$$

Da dieses Integral nicht geschlossen gelöst werden kann und numerische Integration für jeden Zeitschritt ineffizient wäre, wird die Wahrscheinlichkeit eines Intervalls ermittelt durch:

$$P(a \leq Y \leq b) = \Phi\left(\frac{b-\mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a-\mu}{\sigma}\right) \quad (7)$$

Die normierte Verteilungsfunktion ϕ wird dabei einmal in einer Tabelle abgelegt. Die Berechnung kann dann durch eine Indexierung des entsprechenden Bereiches erfolgen, was äußerst effizient durchgeführt werden kann.

Durch die Einbeziehung der Varianzen der Eingangsknoten ist es mit diesem Ansatz möglich eine implizite Qualitätsbewertung der Sensordaten durchzuführen. Eingangsknoten kleinerer Varianz werden durch die Inferenz im probabilistischen Netz stärker berücksichtigt.

4 Ergebnisse

Im Folgenden soll eine Einschere-Situation exemplarisch dargestellt werden. Die Daten wurden auf einer zweispurigen Bundesstraße gemessen. Die Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs beträgt während des gesamten Einschervorgangs ca. 85km/h. Das einscherende Fahrzeug fährt ca. 100km/h zu Beginn und ca. 107km/h am Ende des Einschervorgangs. Das einscherende Fahrzeug wurde bei einem Längsabstand von 14,7m zum ersten Mal auf der linken Spur erfasst. Zur Zeit des Einschervorgangs befindet sich kein relevantes Führungsfahrzeug vor dem eigenen Fahrzeug. Während der Messfahrt war nur die Erkennung aktiv, d.h. es erfolgte kein automatischer Regeleingriff, sondern eine Warnung im Display (Warndreieck in Abbildung 4-1).

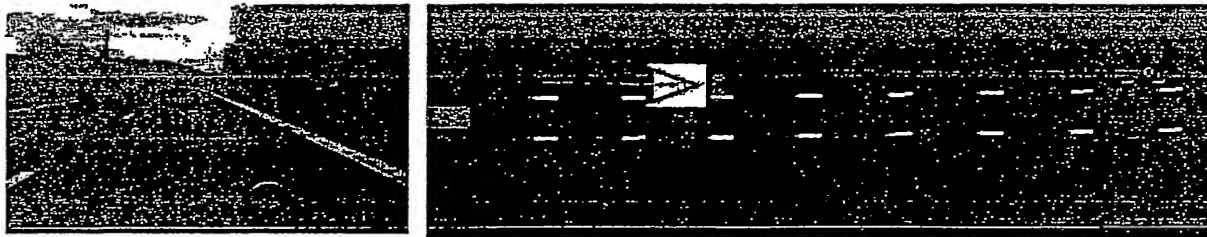


Abbildung 4-1 Einschervorgang auf Bundesstraße. Links reale Verkehrsszene. Rechts Abbildung aus Vogelperspektive. / Cutting-in scenario

Die im Folgenden vorgestellten Aufzeichnungen beziehen sich ausschließlich auf den für die Früherkennung relevanten Bereich zwischen dem Beginn des Spurwechsels bis zur Überquerung der Spurmarkie-

rung mit der rechten Kante (bei Spurwechsel nach rechts) des Fahrzeugs. Bei dem hier aufgezeichneten Einschervorgang dauert dieses Intervall ca. 1,5s.

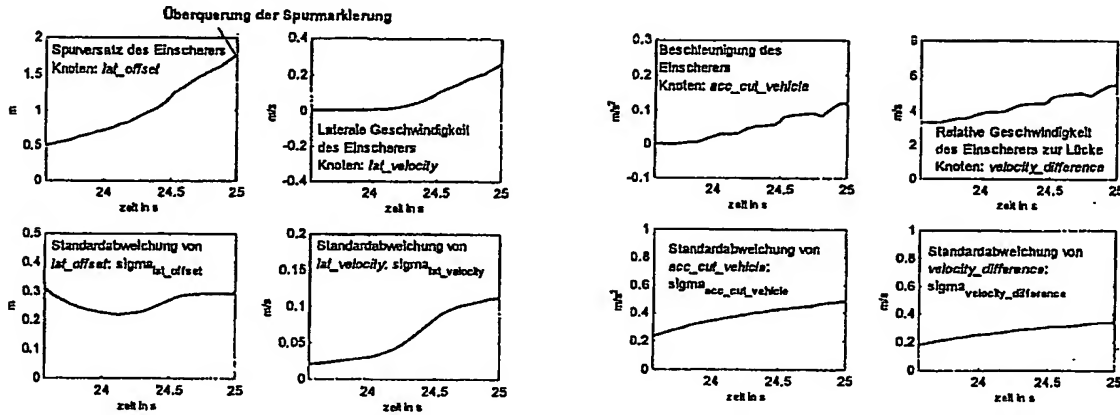


Abbildung 4-2 Links die Eingangsgrößen der Gruppe *lat_evid*. Rechts die ersten zwei Eingangsgrößen der Gruppe *gap_searching*. / Results for *lat_evid* and *gap_searching* attributes

Bei der Ersterfassung hat das Fahrzeug schon einen Spurversatz von 0.5m und eine geringe, positive laterale Geschwindigkeit, was darauf schließen lässt, dass der Spurwechsel schon vor der Ersterfassung begann. Bis zur Überquerung der Spurmarkierung werden ca. 0.3m/s laterale Geschwindigkeit erreicht (Abbildung 4-2 links). Während des Einschervorgangs beschleunigt das einscherende Fahrzeug weiter und ist bei der Überquerung der Spurmarkierung 5.5m/s schneller als das eigene Fahrzeug (Abbildung 4-2 rechts). Dies ist zugleich die Relativgeschwindigkeit zur gedachten Lücke, da kein relevantes Führungsfahrzeug vorhanden ist.

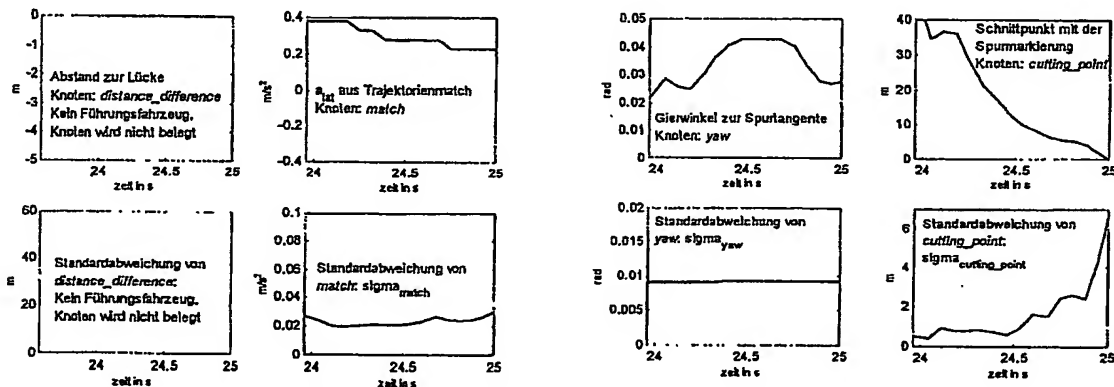


Abbildung 4-3 Links (linke Spalte) die Belegung des Knotens *distance_difference*. Links (rechte Spalte) die maximal ausgenutzte Querbeschleunigung aus dem Trajektorienmatch. Rechts die beiden verbleibenden Eingangsgrößen der Gruppe *trajectory*. / Results for *gap_searching* and *trajectory* attributes

Dadurch, dass kein Führungsfahrzeug vorhanden ist, bleibt der Knoten *distance_difference* unbelegt (Abbildung 4-3 links). Bei dem Trajektorienmatch werden während des Spurwechsels maximal ausge-

nutzte Querbeschleunigungen zwischen $0.23 - 0.37 \text{ m/s}^2$ ermittelt (Abbildung 4-3 links). Der maximale Gierwinkel zur Spurtangente während des Spurwechsels beträgt 0.043 rad (Abbildung 4-3 rechts). Der geschätzte Weg bis zum Schnittpunkt mit der Spurmarkierung nimmt rapide ab und nimmt kurz vor der Überquerung der Spurmarkierung sehr kleine Werte um null an (Abbildung 4-3 rechts). Zu beachten ist, dass die Zeitskala bei den Größen der Gruppe *trajectory* um 0.4s versetzt wurde. Der Grund dafür liegt darin, dass für die Bewertung der Trajektorie schon einige Punkte (hier 6 wegen Robustheit der Ausgleichsrechnung über kleinste Fehlerquadrate) aufgezeichnet sein müssen, um entsprechend ein Polynom zu approximieren oder auf Übereinstimmung mit einer Spurwechseltrajektorie zu prüfen.

In Abbildung 4-4 (links) werden die aufgezeichneten Punkte, das Ausgleichspolynom und die Modell-Spurwechseltrajektorie, die am Besten mit den aufgezeichneten Punkten übereinstimmt, dargestellt. Es ist deutlich zu sehen, dass sogar die Spurwechseltrajektorie mit der besten Übereinstimmung erhebliche Abweichungen aufweisen kann. Diese Abweichung werden jedoch nach dem hier vorgestellten Ansatz als Varianz im Knoten *match* berücksichtigt. Die Qualität der Früherkennung wird in Abbildung 4-4 rechts deutlich. Das Einscheren wird ca. 1s bevor die Spurmarkierung überquert wird erkannt. Diese Zeit kann bei verschiedenen ausgeprägten Spurwechseln variieren, wobei bei den bis dato ausgewerteten Sequenzen Werte zwischen $0.6\text{s} - 1.3\text{s}$ vorkamen.

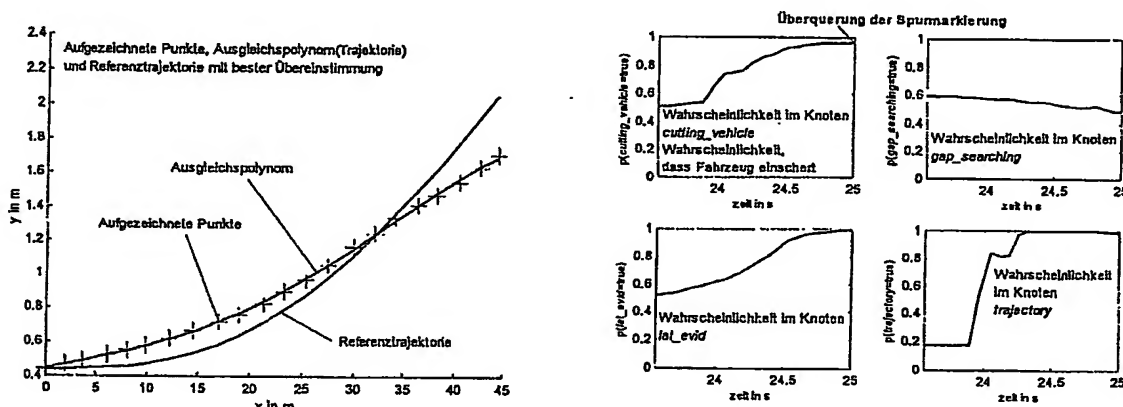


Abbildung 4-4 Links die Bewertung der Trajektorie kurz vor dem Spurwechselvorgang. y ist der Spurversatz und x die abgefahrte Wegstrecke. Rechts Wahrscheinlichkeitsverteilung im probabilistischen Netz / Trajectory match and final results in intermediary nodes and result node

Im Vergleich zum Serien-Abstandsregeltempomaten, der bedingt durch den geringen Öffnungswinkel des Radarsensors das einscherende Fahrzeug erst als relevantes Führungsfahrzeug ermittelt, wenn sich dieses weit in der eigenen Spur befindet, sind Verbesserungen zwischen $1.2\text{s} - 2\text{s}$ möglich.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die hier vorgestellte Einscherer-Erkennung kann Fahrverhalten unter Realzeitbedingungen auswerten und einen Einschervorgang früh und robust erkennen. Dabei wird die Unschärfe im Fahrverhalten und die Unsicherheit der Sensordaten im Modell mitberücksichtigt. Dies wird erreicht, indem eine konsistente und nachvollziehbare Kombination zwischen Sensordatenfilterung und Situationserkennung über die Kovarianzen der Systemzustände erfolgt.

6 Literatur

- [Bubb et. al. 01] H. Bubb, M. Weinberger, G. Winner, Adaptive Cruise Control Feldversuch – Übernahmesituationen,
- [Dagli et. al. 02a] I. Dagli, D. Reichardt, Motivation-based Approach to Behaviour Recognition, In Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicle Symposium, Versailles, 2002
- [Dagli et. al. 02b] I. Dagli, M. Brost, G. Breuel, Action Recognition and Prediction for Driver Assistance Systems Using Dynamic Belief Networks, Lecture Notes in Artificial Intelligence 2592, NODe 2002 Agent-Related Workshops, Revised Papers, Erfurt, Springer-Verlag, 2002
- [Ehmanns & Hochstädter 00] D. Ehmanns, A. Hochstädter, Driver-Model of Lane Change Manoeuvres, 7th World Congress on Intelligent Transport Systems, Turin, 2000
- [Ehmanns 01] D. Ehmanns, Ein universelles Fahrermodell zur realistischen Umgebungsdatstellung für Fahrsimulatoren, Technischer Bericht, FKA, Forschungsgesellschaft für Kraftfahrwesen, Aachen, 2001
- [Fastenmeier et. al. 01] W. Fastenmeier, H. Gstalter Ulf Lehnig, Analyse von Spurwechselvorgängen im Verkehr, Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, (1/2001), Darmstadt, 2001
- [Gern et. al. 00] A. Gern, U. Franke, P. Levi, Advanced Lane Recognition - Fusing Radar and Vision, In Proceedings of IEEE Conference on Intelligent Vehicles, 2000
- [Gern 03] A. Gern, Multisensorielle Spurerkennung für Fahrerassistenzsysteme, Dissertation, Institut für Bildverarbeitung, Stuttgart, 2003
- [Moebus et. al. 00] R. Moebus, U. Kolbe, A. Joos, Multi-Target, Multi-Object Radartracking Using an Automotiv Radar Sensor, In Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles, Columbus, Ohio, 2003
- [Spindler 62] W. Spindler, Wege, Querbeseleunigungen und die Wahl der Überholwege bei der Kurvenfahrt von Kraftfahrzeugen, Dissertation Technische Universität München, 1962

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennung von Spurwechselvorgängen für ein Fahrzeug, bei dem wenigstens eine Beobachtungsgröße ermittelt wird, die das Spurwechselverhalten eines beobachteten Fremdfahrzeugs beschreibt, wobei in Abhängigkeit der wenigstens einen Beobachtungsgröße eine Spurwechselgröße bestimmt wird, die die Spurwechselabsicht des Fremdfahrzeugs ausgehend von einer dem Fremdfahrzeug zugeordneten Fahrbahnspur charakterisiert.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass sich die Spurwechselgröße auf ein Einscheren des Fremdfahrzeugs auf eine dem Fahrzeug zugeordnete Eigenfahrbahnspur bezieht.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass es sich bei einer ersten Beobachtungsgröße um eine Spurversatzgröße handelt, die eine Querverschiebung des Fremdfahrzeugs relativ zur Spurmitte der Fahrbahnspur beschreibt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass es sich bei einer zweiten Beobachtungsgröße um eine Spurversatzänderungsgröße handelt, die eine Quergeschwindigkeit des Fremdfahrzeugs in Richtung einer orthogonal zum Spurverlauf der Fahrbahnspur verlaufenden Achse beschreibt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass es sich bei einer dritten Beobachtungsgröße um eine
Trajektoriengröße handelt, die den Verlauf der Fahrspur des
Fremdfahrzeugs beschreibt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass es sich bei einer vierten Beobachtungsgröße um eine
Gierwinkelgröße handelt, die den Gierwinkel des Fremdfahr-
zeugs beschreibt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass es sich bei einer fünften Beobachtungsgröße um eine
Zeitlückengröße handelt, die einen zeitlichen Abstand zwi-
schen dem Fahrzeug und dem Fremdfahrzeug beschreibt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass es sich bei einer sechsten Beobachtungsgröße um eine
Zeitlückenänderungsgröße handelt, die eine Änderung eines
zeitlichen Abstands zwischen dem Fahrzeug und dem Fremd-
fahrzeug beschreibt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass bei der Bestimmung der Spurwechselgröße die Varianz
der wenigstens einen Beobachtungsgröße berücksichtigt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass bei der Bestimmung der Spurwechselgröße der Verlauf
von auf der Fahrbahnoberfläche angebrachten Fahrbahnmarkie-
rungen berücksichtigt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Spurwechselgröße die Wahrscheinlichkeit für einen

Spurwechsel des Fremdfahrzeugs angibt, wobei auf eine Spurwechselabsicht geschlossen wird, wenn die Wahrscheinlichkeit größer als ein vorgegebener Wahrscheinlichkeitsschwellenwert ist.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass bei erkannter Spurwechselabsicht eine optische und/oder akustische und/oder haptische Fahrerwarnung an den Fahrer des Fahrzeugs ausgegeben wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass bei erkannter Spurwechselabsicht fahrerunabhängige Eingriffe in Bremsmittel und/oder Antriebsmittel und/oder Lenkmittel des Fahrzeugs vorgenommen werden.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass zur Vermeidung eines Auffahrens auf das Fremdfahrzeug eine Ausweichtrajektorie bestimmt wird, die eine für das Fahrzeug zur Durchführung eines Ausweichvorgangs geeignete Fahrspur beschreibt, wobei dem Fahrer des Fahrzeugs bei Erfüllung einer vorgegebenen Ausweichbedingung optische und/oder akustische und/oder haptische Hinweise zur Durchführung des Ausweichvorgangs gemäß der bestimmten Ausweichtrajektorie gegeben werden.
15. Vorrichtung zur Erkennung von Spurwechselvorgängen für ein Fahrzeug, mit Beobachtungsmitteln zur Beobachtung eines Fremdfahrzeugs, die zur Ermittlung wenigstens einer das Spurwechselverhalten des beobachteten Fremdfahrzeugs beschreibenden Beobachtungsgröße vorgesehen sind, wobei eine Auswerteeinheit in Abhängigkeit der wenigstens einen Beobachtungsgröße eine Spurwechselgröße bestimmt, die die Spurwechselabsicht des Fremdfahrzeugs ausgehend von einer dem Fremdfahrzeug zugeordneten Fahrbahnspur charakterisiert.

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erkennung von Spurwechselvorgängen für ein Fahrzeug. Es wird wenigstens eine Beobachtungsgröße ermittelt, die das Spurwechselverhalten eines beobachteten Fremdfahrzeugs beschreibt, wobei in Abhängigkeit der wenigstens einen Beobachtungsgröße eine Spurwechselgröße bestimmt wird, die die Spurwechselabsicht des Fremdfahrzeugs ausgehend von einer dem Fremdfahrzeug zugeordneten Fahrbahnspur charakterisiert.